

徐州狮子山西汉楚王陵出土 铁器的金相实验研究

北京科技大学冶金与材料史研究所
徐州汉兵马俑博物馆

被评为“95'中国十大考古新发现”之一的徐州狮子山西汉楚王陵,是目前已发现的规模较大、等级较高的汉代陵墓。经初步研究,墓主人可能为西汉时的第三代楚王刘戊(前175~前154年),距今已有2170年^[1]。狮子山楚王陵出土的金属器物极为丰富,尤其是兵器出土的数量多、品种全,实用工具(如凿)形制、尺寸各异,种类齐全,还有铜镜、铜印章及铜钱等,可以代表汉初金属制作技术的发展水平。因此通过对这些器物的成分、金相组织与制作技术的研究,探讨汉代冶金和金属制作技术对社会发展、政治、经济的作用等具有重要意义。本文利用金相实验对狮子山楚王陵出土的21件铁器(表一)进行研究,取样的器物有釜、刀、甲片、凿、垫铁片、封门器、矛、撬等,其中工具8件,兵器9件,生活用具4件。

一 实验研究

通过对钢铁制品进行金相组织的仔细观察,可以判定器物的材质,了解制作工艺,如是铸还是锻,是否经过加热、淬火等。取样进行金相组织观察,样品多取自残断处,其中凿(2440-2、2450、2457、2460)和矛(2453、2454)等6件器物完整,对其取样采用0.1毫

米铅丝线切割进行。取下的实验样品经过镶样、磨光、抛光后,用4%硝酸酒精溶液浸蚀,在金相显微镜和扫描显微镜下观察金相组织,并拍摄组织照片。利用金相组织观察、夹杂物形貌分析、磷偏析检验等方法对这21件铁器样品进行的实验研究结果见表一。

残铁刀(2432)、凿(2460)样品浸蚀时呈现亮带,是由于受浸蚀程度不同而产生分层现象。为了查清原因,对这2件样品采用奥勃氏试剂为浸蚀剂进行了磷偏析的实验分析。奥勃氏试剂由 FeCl_3 30克, CuCl_2 1克, SnCl_2 0.5克, HCl 150毫升,酒精500毫升,水500毫升配制而成。实验表明,两块样品均有明显的分层现象,是磷偏析造成的。磷偏析照片见图二、一二。

仅根据金相组织观察还不能准确判定钢铁制品的制作工艺,故还需结合夹杂物成分进行综合分析。一般来讲,生铁及生铁炼钢制品的夹杂物中的磷、锰氧化物存在亦较稳定,不会有成分的较大波动。而块炼铁中铜、磷的氧化物及氧化亚铁分布不均匀,存在大块的氧化亚铁~铁橄榄石型硅酸盐共晶夹杂。块炼铁及块炼渗碳钢锻打时,这些夹杂物也不能去除而保留在未经液态的基体中,表现出铜、磷等元素有较大的波动,夹杂物亦以氧化

表一

实验研究结果

样品号及名称	样品原号或出土地点	取样部位	金相组织观察结果	金相照片
2432 铁刀	甬:120	残断处	珠光体+铁素体,含碳量为0.5~0.6%,局部有块状先共析铁素体。心部有大块单相夹杂沿一定方向延伸,排列成串;其他部分夹杂物单相、细小,多位于边部且沿锻打方向变形;由于P元素的偏析不易受浸蚀液侵蚀呈现亮带,并由于含碳量不同,有分层现象。靠近刃部组织分为12~18层,远离刃部可大致分为10层,仅有少量细小夹杂物分布于亮带中。系不同材料折叠锻打而成。	图一 图二
2433 铁釜	E1:92	残断处	已锈,白口铁铸态莱氏体组织仍清晰可见,有长条状及不规则状的渗碳体。	图三
2436-1 铁甲片	后室	残断处	锈蚀严重,仅残存少量金属。铁素体基体,晶界处有少量珠光体,晶粒大小不一,大者晶粒度4级,小者7级,组织不均匀,含碳量0.1~0.12%。单相夹杂变形量小,铁素体晶粒稍变形拉长,冷锻处理成形。	
2436-2 铁甲片	后室	残断处	锈蚀严重,仅残存少量金属。铁素体和少量珠光体,含碳量0.06~0.1%,局部地方有魏氏组织,单相细小夹杂物沿加工方向延伸。晶粒拉长,冷锻处理制成。	
2436-3 铁甲片	后室	残断处	锈蚀严重,仅残存少量金属。铁素体,晶粒间界有碳化物析出。中间部分有一晶粒细小区域,外围晶粒较大。晶粒有方向性变形。单相夹杂物变形量较小。再结晶温度以下锻打成形。	图四
2436-5 铁甲片	后室	残断处	锈蚀严重,仅残存少量金属。晶粒大小不均匀,大者珠光体+网状铁素体,含碳量0.5%;小者铁素体和珠光体,含碳量0.2%。大小晶粒分界为一弧形区域,有长条状单相细小变形夹杂物排列成行,亦有大块未变形单相夹杂。系两块含碳量不同的钢叠打在一起。	图五
2437-2 铁甲片	E5	残断处	锈蚀严重,仅残存少量金属。铁素体,晶粒均匀,晶粒度6级,有球状单相夹杂呈弥散状分布。	
2437-3 铁甲片	E5	残断处	锈蚀严重,仅残存少量金属。铁素体,晶粒均匀,晶粒度6级,有球状单相夹杂呈弥散状分布。	
2438-3 铁甲片	E5	残断处	锈蚀严重,仅残存少量金属。珠光体+网状铁素体,含碳量0.5%。少量细小单相夹杂物沿加工方向变形。	
2440-1 凿	*	头部	局部渗碳,边部有魏氏体组织,含碳量0.5%,内部铁素体和细珠光体组织,含碳量约0.1%,组织均匀,质地较纯净。以少量单相夹杂为主,有个别复相夹杂。	图六
2440-2 凿	*	头部	板条状马氏体较多,原奥氏体晶界有屈氏体析出,心部马氏体减少。含碳不均匀,锻打成形,从图中可看出明显的折叠痕迹,经过淬火。单相细小夹杂物较多,并沿加工方向变形。心部有一较大裂缝,被FeO填充,裂缝沿晶粒间界延伸,可能为夹杂,并在淬火时淬裂。	图七
2441-1 垫铁片	*	头部	全铁素体组织,晶粒度4级。大块条形复相夹杂较多,晶粒内也有粒状夹杂物。心部有裂纹。块炼铁锻打成形。	图八
2441-2 垫铁片	*	中部残断处	低碳钢,含碳不均匀,夹杂物少。	
2442 封门器	甬:184	轴	边部铁素体晶界析出少量珠光体,含碳量为0.1%,铁素体晶粒内有少量浮凸组织。心部铁素体,晶粒度5级,浮凸组织较多。夹杂物大者复相,小者单相数量较多,并沿加工方向延伸。	
		铁块处	铁素体基体,偶见少量珠光体,晶粒有较大变形,发现有魏氏组织。	
2450 凿	*	头部	细小淬火马氏体组织,单相夹杂物为主,沿加工方向排列,中心部位有一较大的裂缝沿晶界断裂,有折叠锻打痕迹。裂缝为以氧化亚铁为主的复相夹杂,其他部位为硅酸盐细小单相夹杂,沿加工方向延伸。	
2453 矛	甬:3	头部	矛头部及两侧含碳量高,部分渗碳体球化,含碳高处为0.5%,低处为0.15%。以含碳量及晶粒大小分层,但不均匀,最多可分为8层。夹杂物数量多,一部分是以氧化亚铁夹杂为主,一部分以硅酸盐夹杂为主,均为单相,变形量大,沿加工方向排列成行。	图九
2454 矛	甬:17	头部	样品锈蚀层厚,组织为铁素体和珠光体呈魏氏组织,边部含碳高,约为0.5~0.8%,中间含碳低,约为0.3~0.4%。单相夹杂物较少,且多靠近边缘处。	图一〇
2457 凿	*	头部	大部分铁素体,晶粒有大有小,大者5级,小者7级;边缘处铁素体和珠光体,含碳量0.3%,有渗碳层痕迹。大小晶粒间有明显界限,界限处粒状夹杂物较多,中间部分以单相细小夹杂物为主,边缘处条状复相夹杂物沿加工方向延伸。	

续表一

2458 镞	墓道前端石缝中	中间部位	纯铁素体,晶粒粗大,晶粒度2级,局部区域有小晶粒,以氧化亚铁及大块复相夹杂为主,数量多且分布不均匀。	
2459 凿	*	头部	板条状马氏体及屈氏体,原奥氏体晶粒大小不均,含碳量不均匀,心部渗碳体球化。细小单相夹杂物较多,根据夹杂物变形情况看加工方向不规整。	
2460 凿	*	头部	针状马氏体,远离头部马氏体减少。马氏体少处有高低碳分层现象,平均可分为12层,高碳层组织为屈氏体,低碳层为马氏体。单相夹杂物大部分分布在高碳层并沿加工方向延伸,由于P元素的偏析不易受浸蚀液浸蚀呈现亮带,经过折叠锻打。	图一、一二

* 散见墓室各处,特别是墓道前端未完成部分,据此可知这些工具为当时修墓时的实用器。

表二

鉴定结果

样品号	名称	材质	样品号	名称	材质
2432	铁刀	炒钢与块炼渗碳钢 折叠锻打	2441-1	垫铁片	块炼铁锻打
2433	铁釜	白口铁铸件	2441-2	垫铁片	铸铁脱碳钢锻打
2436-1	铁甲片	铸铁脱碳钢冷锻	2442	轴	炒钢废料锻打
2436-2	铁甲片	铸铁脱碳钢冷锻	封门器	铁块	铸铁脱碳钢锻打
2436-3	铁甲片	铸铁脱碳钢冷锻	2450	凿	炒钢经过局部淬火
2436-5	铁甲片	铸铁脱碳钢锻打	2453	矛	块炼渗碳钢叠打
2437-2	铁甲片	铸铁脱碳钢锻打	2454	矛	炒钢叠打
2437-3	铁甲片	锈蚀严重无法判定	2457	凿	块炼渗碳钢叠打
2438-3	铁甲片	铸铁脱碳钢锻打	2458	镞	块炼铁锻打
2440-1	凿	铸铁脱碳钢锻打	2459	凿	炒钢与块炼渗碳钢 叠打局部淬火
2440-2	凿	炒钢叠打 经过局部淬火	2460	凿	两块炒钢折叠锻打 经过局部淬火

亚铁为主,分布也不均匀。炒钢制品夹杂物多为单相硅酸铁夹杂,数量有多有少,且其成分为硅高铁低,铝、镁、钾、锰较高,锰/磷较均匀,有的样品金相组织由于含碳量不同产生分层现象,但每层中含碳量亦较均匀。由此可以判定钢铁制品的材质及制作技术。利用夹杂物形貌及成分分析并结合金相组织观察来研究判定钢铁制品冶炼方法的标准问题,由于篇幅所限将在另文讨论。

根据上面的研究,徐州狮子山楚王陵出土铁器的材质及制作技术如表二。

金相学的研究表明:1. 鉴定出的材质有白口铁、块炼铁、块炼渗碳钢、铸铁脱碳钢和炒钢。2. 21件样品除铁釜残块为白口铁铸件以外,其他20件全是锻制品。3. 有4件凿子使用了局部淬火工艺,有3件铁甲片使用了冷锻技术。

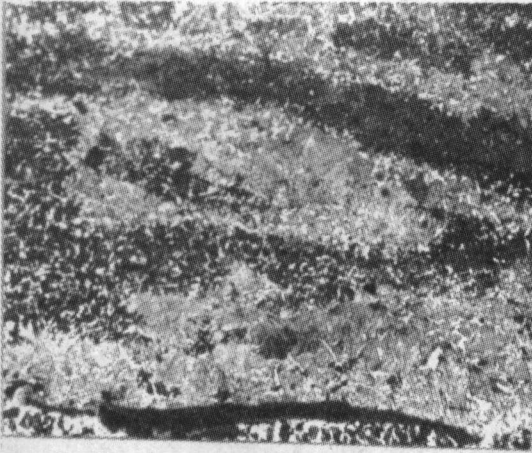
二 讨论

到目前为止,全国已发掘了40余座汉诸侯王陵墓。一般来说,王陵既有皇家墓葬形制的相对统一、规模宏大、随葬品多的共同特点,还有着明显的区域文化特色。西汉诸侯王

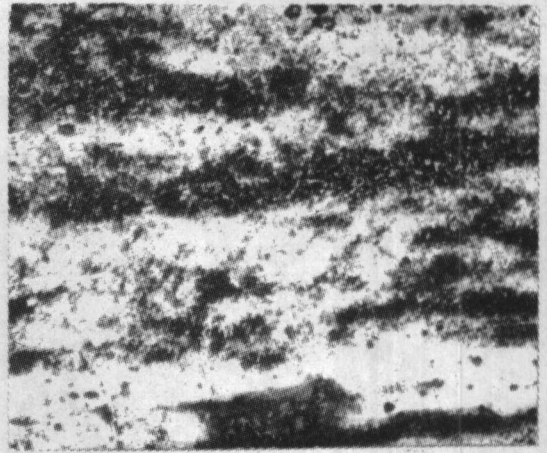
墓大多选择在王城附近的山岗或高亢的坡地上营造,从形制上可分为崖洞墓(洞室墓)和竖穴土石坑墓两种,并流行王、后异穴合葬形式^[2]。大体上说,西汉前期的始封诸侯王,特别是齐梁楚诸国,墓葬最大,随葬品最多,如山东长清双乳山一号汉墓封土占地面积达4225平方米,高12米以上,土石方达3000立方米,墓葬总面积达1447.5立方米,凿石总量8800立方米以上^[3];徐州狮子山楚王陵面积为851平方米,凿石量为5100立方米;河南永城保安山二号墓总面积1600平方米,凿石量6500立方米^[4],也出土了大量精美的文物。出现这种大墓应是经济和实力的最好反映。

开凿和修建这些陵墓离不开巨大的物力、人力和财力,但也离不开先进的技术,其中钢铁技术起到了重要作用。在这些墓葬中出土了大批铁器,其中有成套的凿、鋌等开山凿石工具,还有大量的兵器及生活用具。没有高质量的钢铁工具,完成这些大规模的工程几乎是不可能的。

徐州狮子山楚王陵出土的铁器大部分锈蚀严重,如耳室中出土的两捆铁剑都锈在一



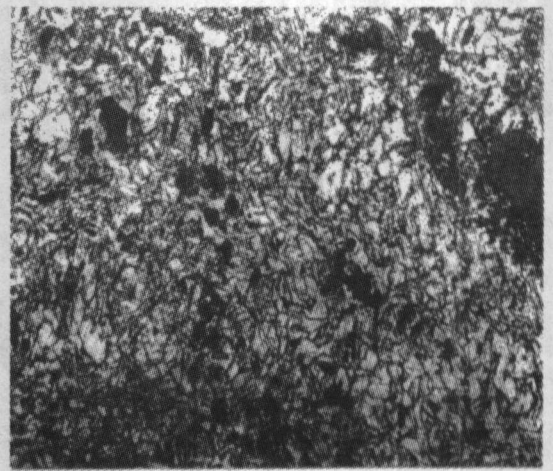
图一 2432 铁刀珠光体分层 $\times 100$



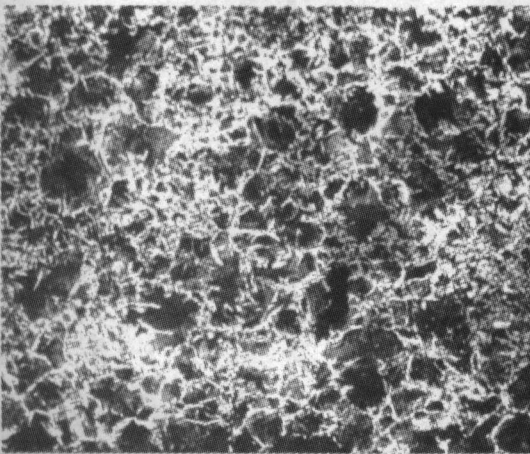
图二 2432 铁刀磷偏析 $\times 100$



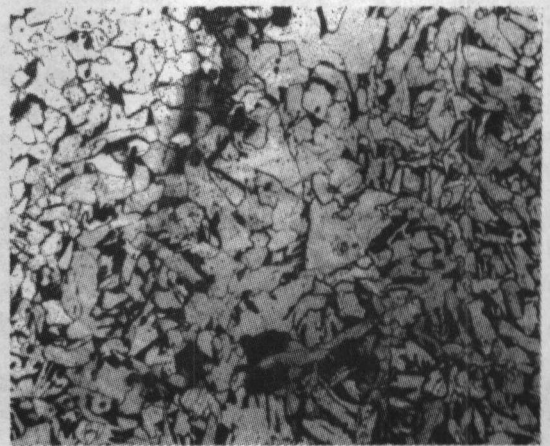
图三 2433 铁钎铸态白口铁 $\times 100$



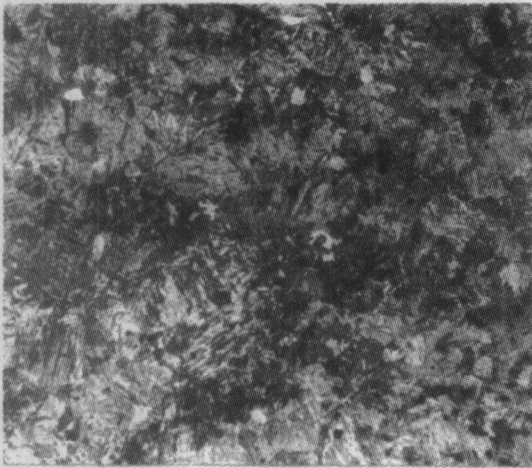
图四 2436-3 甲片铁素体变形 $\times 100$



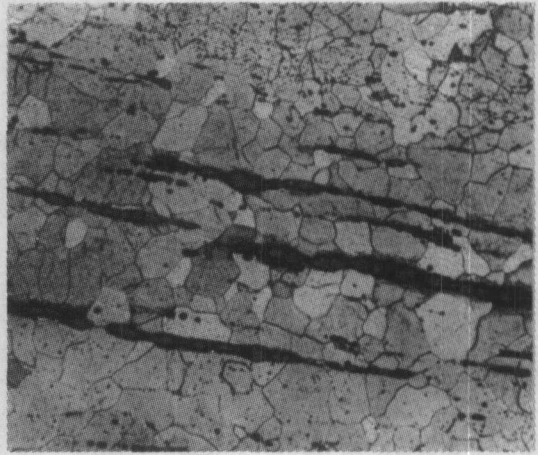
图五 2436-5 甲片珠光体 + 铁素体 $\times 100$



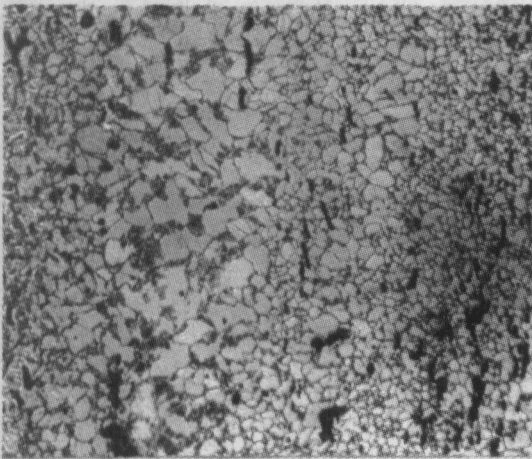
图六 2440-1 索氏体组织 $\times 100$



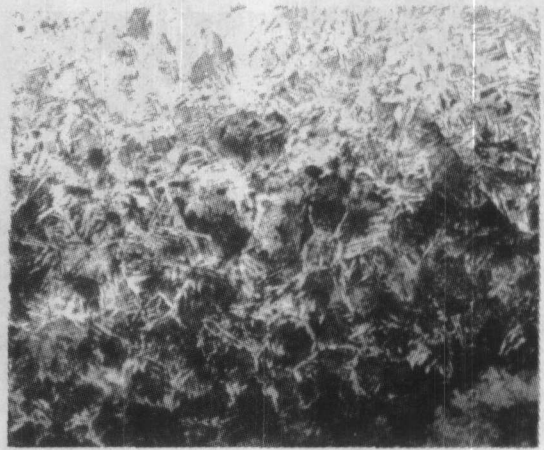
图七 2440-2 马氏体+屈氏体 ×125



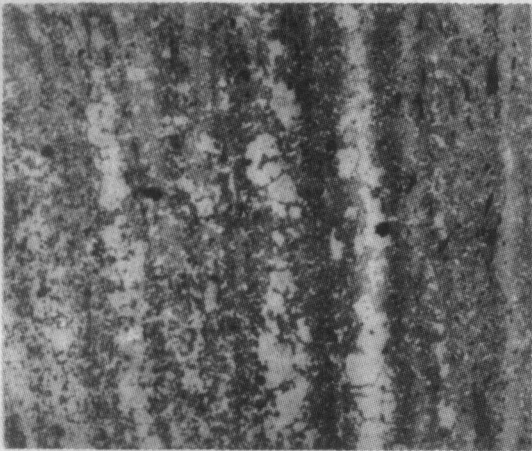
图八 2441-1 垫片铁素体+夹杂物 ×125



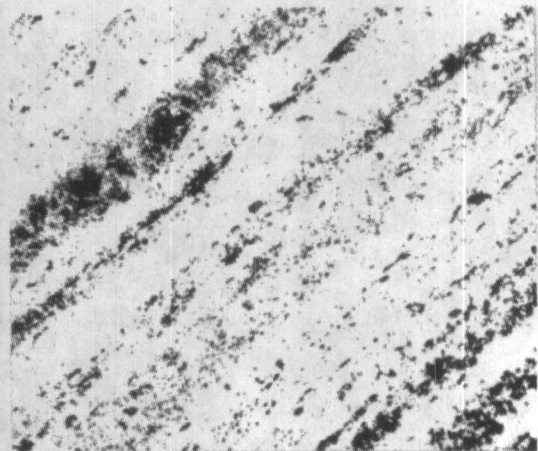
图九 2453 牙分层组织 ×100



图一〇 2454 牙渗碳层魏氏组织 ×96



图一一 2460 雷马氏体分层组织 ×100



图一二 2460 雷磷偏析分层 ×100

起,从残断处已经很难找到金属进行金相鉴定,故影响了对徐州狮子山楚王陵出土铁器的全面认识。

这次检测了徐州狮子山楚王陵出土的9件兵器,其中甲片7件、矛2件。2件矛的头部进行金相鉴定结果表明,2453是块炼铁制品,2454为炒钢制品,在加热锻打后都经过了渗碳处理。这2件矛虽由不同材料制成,但都经过了渗碳工艺来提高刃部的硬度而增强杀伤力,达到了相同的效果,应是对于钢铁的性能有了一定的了解。

满城汉墓出土的钢剑、戟经分析经过了淬火处理^[5];广州南越王墓出土的钢剑也是锻打成型,表面渗碳,最后经过淬火处理^[6];狮子山楚王陵出土的矛虽没有发现淬火马氏体组织,但发现了折叠锻打和表面渗碳现象。这标志着通过折叠锻打、表面渗碳和局部淬火等工艺的综合应用来提高兵器的使用性能在汉代已被熟知,并且折叠锻打和渗碳工艺的成熟使用,为百炼钢的发明奠定了基础。

战国后期锋利的钢铁兵器逐渐用于实战,促使防护用具发生变革。迄今为止发现时代最早的铁铠甲是在河北易县燕下都遗址出土的。西汉时期铁铠甲已成为最主要的防护装置,而且制造的工艺水平也达到相当成熟的地步。对于中国古代铁制铠甲的有关问题,杨泓先生已经对其起源、形制、发展历程等方面进行了系统的研究^[7]。通过铁甲片的显微组织分析研究,制造技术尚不多见,冶金史研究者曾分析了河北满城汉墓^[8]、广州南越王墓^[9]、河北易县燕下都墓葬^[10]、吉林榆树老河深鲜卑墓葬^[11]、内蒙古呼和浩特二十家子^[12]中出土的铁制甲片共5片。本文通过金相组织及夹杂物的判定等方法分析了徐州狮子山楚王陵出土的7片铁甲片,是首次对同一墓葬出土的铁甲片选取一定数量进行金相学分析来研究制作技术,应具有代表性。徐州狮子山楚王陵出土的铁甲片均以铸铁脱碳钢为原料经过锻打制造而成,在铁甲片的制作上有

冷锻和热锻两种工艺,制作的产品有较好的质量。

检测的8件工具中,共有凿6件、铁撬1件和铁刀1件,除铁刀之外,皆为开山凿石工具。

6件凿中有圆头凿4件、平头凿2件。2457凿形体较大,从形制上看,其使用功能与其他凿不同。金相组织检验表明,3件圆头凿和1件平头凿均在头部发现了淬火马氏体组织,为局部淬火制品;2440-1凿中间部位有魏氏组织;2457主要是铁素体组织,局部渗碳经判断为块炼渗碳钢制品。2440-2、2450两件凿心部都有一条比较大的裂缝,裂缝中充满了氧化亚铁,这应是折叠锻打时裹进的,在后来的淬火中又使裂纹进一步的形成和扩展,表明锻制这2件凿子时工艺掌握尚不稳定。2457凿、2458撬两件工具则是块炼渗碳钢制品,根据形制分析,这2件工具不是凿石用的,可能是作为撬杠或其他用途,对硬度要求不高,故仍可使用。

已鉴定河北满城汉墓^[13]、广州南越王墓^[14]、徐州北洞山汉墓^[15]、狮子山楚王陵、永城保安山梁王墓^[16]、高邮天山一号汉墓^[17]等6处汉王陵中出土的铁制工具有鏃、凿、镑、斧、锯、撬、铍、锥、锤、削、锉等,共27件,均应为实用器。这些工具有的是在修墓时留下的,有的则是作为随葬品,例如广州南越王墓中出土有一个装有许多工具的箱子^[18]。

从材质上看有白口铁、脱碳铸铁、铸铁脱碳钢、韧性铸铁、炒钢和块炼铁等。例如对于斧、锤、砧等工具多采用铸造,其材质为白口铁、韧性铸铁、可锻铸铁等;而对于鏃、凿、镑、锯、撬、削、锉等工具,则多采用钢材锻打,材质有铸铁脱碳钢、炒钢、块炼铁和块炼渗碳钢。表明西汉时期工匠根据工具的不同用途和形制,来确定选用不同的材质为原料加工制作工具。同时亦说明西汉时期存在多种冶炼制作方法,在技术上还有一定差别,如块炼铁和块炼渗碳钢、生铁及炒钢同时存在,并一

起应用到制作工具当中。

为了提高工具的使用性能,需要对工具的刃口部或头部采用冷锻或淬火方法进行处理。满城汉墓出土的釜(2:3097)^[19]、北洞山楚王陵出土的釜(4007)^[20]、永城梁孝王墓出土的镑(6125)和刀(6121)^[21]进行了冷锻处理。头部经过局部淬火的有狮子山楚王陵出土的4件凿子和北洞山出土的1件釜(4008)^[22]。利用冷加工和淬火两种不同的工艺对产品进行处理以达到使用性能的要求,说明当时工匠对钢铁制品的认识达到了较高水平。

西汉时期发明的炒钢技术,被誉为继铸铁发明以后钢铁发展史上又一里程碑。炒钢既可以生铁为原料,在空气中有控制地氧化脱碳,然后反复加热锻打成钢;也可以将生铁在半熔融状态下炒成熟铁,然后加热渗碳,锻打成钢。发现年代较早的以炒钢为原料制成的实物,有山东临沂出土的东汉环首钢刀和江苏徐州出土的东汉钢剑等。这些炒钢制品经金相鉴定,均含有相同类型的夹杂物,即以硅酸盐为主,变形量大,并含有少量的钾、镁等元素^[23]。这次检测的21件样品中经判定有5件炒钢制品。这是在徐州地区发现的又一批早期炒钢制品。在广州南越王墓^[24]及高邮天山汉墓^[25]中发现的炒钢制品的年代略晚于狮子山楚王陵。所以,狮子山铁器中炒钢制品的发现,又为炒钢技术的发明、使用提供了新的例证,并且它们是迄今为止年代最早的炒钢制品,表明西汉早期(前2世纪中叶),即不晚于公元前154年中国已经发明了炒钢技术。

徐州的汉王陵均为崖墓,规模很大,这固然与当时的习俗有关,但也应与当地的铁矿资源与冶铁技术有密切联系,钢铁技术的发展和钢铁工具质量的提高为大规模墓葬的修建提供了工具上的保证。到目前为止,考古工作者仅在梁国王陵区发现了附设的冶铁作坊。永城芒砀山冶铁遗址位于芒砀山主峰南

麓下,从遗址所处位置上看,正位于梁国陵墓群的中心,出土的遗物有炼铁的炼渣和炼铁炉炉壁残块^[26]。而满城一号和二号墓的墓门均采用生铁现场浇铸^[27],墓门附近也发现了可能用于化铁的铁器。再从满城汉墓中出土的铁质铸范、锤、砧和铸铁渣子来看,满城汉墓附近也应该有冶铁作坊。徐州是历史上有名的铁产地,汉武帝时就在徐州设置了大铁官,至今仍是我国重要的铁矿产地。考古工作者已在徐州地区发掘了两处汉代冶铁遗址,即徐州利国驿^[28]和睢宁^[29]冶铁遗址,出土的冶铁遗物主要是炉渣和残存的炼铁炉,经过分析的仅炉渣一项。而狮子山和北洞山楚王陵出土铁器的研究为研究徐州地区汉代冶铁技术提供了资料,但还有待开展系统的研究工作。

三 结 论

1. 狮子山楚王陵出土的21件铁器的金相学分析表明:生铁、铸铁脱碳钢和炒钢在西汉时期已较为普遍,而块炼铁、块炼渗碳钢仍继续使用,呈现出技术的多样性,表明钢铁技术还处于发展时期;有4件凿子使用了局部淬火工艺,3件铁甲片使用了冷锻技术,表明开山凿石工具和兵器的制作技术有了新的进步;发现的5件炒钢制品,表明西汉早期(前2世纪)已经发明了炒钢技术,这是迄今为止年代最早的。

2. 对狮子山楚王陵和其他西汉诸侯王陵墓进行初步的比较研究,对于阐明当时的钢铁技术水平又提供了一批较丰富的资料。为了更全面认识汉代冶金技术的发展,还应更多地研究出土的文物标本和结合冶金遗址及其他遗物进行综合、系统的研究。

在本文的写作过程中得到了冶金史研究所柯俊院士、孙淑云教授、李延祥副教授、李秀辉讲师的指导和帮助,姚建芳、刘建华参加了金相实验工作,北京科技大学李前懋教授、

裘宝琴、王连伟同志也参加了部分实验工作，在此表示衷心的感谢。

执 笔：陈建立 韩汝玢

- [1] 狮子山楚王陵考古发掘队《徐州狮子山西汉楚王陵发掘简报》，《文物》1998年第8期。
- [2] 黄展岳《汉代诸侯王墓论述》，《考古学报》1998年第1期。
- [3] 山东大学考古系 山东省文物局长清县文化局《山东长清县双乳山一号汉墓发掘简报》，《考古》1997年第3期。
- [4] 《永城西汉梁国王陵与寝园》，中州古籍出版社，1996年。
- [5] 北京钢铁学院金相实验室《满城汉墓部分金属器的金相分析报告》，《满城汉墓发掘报告》，文物出版社，1980年。
- [6] 北京科技大学冶金史研究室《西汉南越王墓出土铁器鉴定报告》，《西汉南越王墓》附录四，文物出版社1991年。
- [7] 杨泓《考古学与中国兵器史研究》，《文物》1985年第8期。
- [8] 同[5]。
- [9] 同[6]。
- [10] 北京钢铁学院压力加工专业《易县燕下都44号墓葬铁器金相考察初步报告》，《考古》1975年第4期。
- [11] 韩汝玢《吉林榆树老河深鲜卑墓葬出土技术文物的研究》，《榆树老河深》附录二，文物出版社，

1987年。

- [12] 李众《中国封建社会前期钢铁冶炼技术发展的探讨》，《考古学报》1975年第2期。
- [13] 同[5]。
- [14] 同[6]。
- [15] 韩汝玢《北洞山西汉楚王墓出土铁器的鉴定》，待发表。
- [16] 李秀辉 韩汝玢《永城保安山寝园及二号墓出土金属器物的鉴定》，《永城西汉梁国王陵与寝园》附录一，中州古籍出版社，1996年。
- [17] 梅建军 李秀辉《高邮天山一号汉墓出土金属器物鉴定报告》，待发表。
- [18] 《西汉南越王墓》，文物出版社，1991年。
- [19] 同[5]。
- [20] 同[15]。
- [21] 同[16]。
- [22] 同[15]。
- [23] 柯俊 韩汝玢《中国古代的百炼钢》，《自然科学史研究》1984年第4期。
- [24] 同[6]。
- [25] 同[7]。
- [26] 同[4]。
- [27] 《满城汉墓发掘报告》，文物出版社，1980年。
- [28] 南京博物院《利国驿古代炼铁炉的调查及清理》，《文物》1960年第4期。
- [29] 南京博物院《1991年徐州考古调查简报》，《东南文化》1997年第4期。

(责任编辑：李缙云)

Study on Iron & Steel Artifacts Unearthed from the Prince's Tomb of the Chu State in Shizishan
 Institute of Historical Metallurgy & Materials University of Science & Technology, Beijing
 The Museum of the Terra-Cotta Warriors and Horses of Han Dynasty, Xuzhou

Twenty one iron & steel artifacts, including weapons, tools and a piece of vessel unearthed from the prince's tomb of the Chu State in the Western Han Dynasty (202 B.C. ~ 25 A.D.), in Shizishan (Lion Mountain), Xuzhou, Jiangsu province, have been examined using metallurgy and P print test. Iron & steel artifacts unearthed from other six princes' tombs of the same time have been studied in comparison with this tomb. The results shown that several manufactures such as: casting iron, decarburized steel of solid state, malleable cast iron, bloomery iron, carburized steel, puddling steel, quenching process, cold working etc. were widely used. It suggests that the blacksmiths made great advance in iron & steel making and heat treatment techniques in that period. The five puddling steel artifacts unearthed from the Shizishan tomb were the earliest in China. It was confirmed that the puddling steel technique has been invented in the middle of the 2nd c. B.C..